

Karma lifli betonların tokluk açısından değerlendirilmesi

Fehmi ÇİVİCİ^{*1}, Engin GÜNGÖR²,

¹ Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

² İnşaat Yüksek Mühendisi, Balıkesir

Makale Gönderme Tarihi: 22.01.2016

Makale Kabul Tarihi: 27.05.2016

Öz

Günümüzde farklı lifleri bir arada kullanarak elde ettiğimiz karma lifli beton ile betonun değişik özelliklerini iyileştirebilmekteyiz. Bu mükemmel malzeme konusundaki deneyimlerimiz her geçen gün artarak istenilen özellikte, amaca uygun ürünler elde edilmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde betonun gevreklik özelliğinden kurtarıp sünek bir malzeme haline getirmenin bir yolu da liflerin kullanılmasıdır.

Bu çalışmada 11 farklı beton numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Karışımlarda çelik lif miktarı, 20 kg/m³, 40 kg/m³ ve polipropilen lif miktarı ise 600 g/m³ alınmıştır. Karma lifli beton karışımlarında ise çelik lif 20 kg/m³, polipropilen lif ise 500 g/m³ miktarında karışıma eklenmiştir. Üretilen 150x150x550 mm lik kiriş ve 150 mm lik küp numuneler eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Aynı su/çimento oranına sahip numunelerin eğilme deneyleri aracılığıyla yük-sehim diyagramları oluşturulmuştur. Her bir numune için kayıt altına alınan kırılma davranışına bağlı olarak numunelerin enerji yutma kapasiteleri yük-sehim diyagramları aracılığıyla ölçülmüştür. En iyi performansın karma lifli beton numunelerden elde edilmesi, Ülkemizin deprem kuşağında bulunması gerçeğine bağlı olarak depreme karşı sünek elemanlar üretmenin önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: hibrit lif; çelik lif; propilen lif; tokluk; eğilme

Giriş

Betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan lif malzemelerini doğal ve yapay lifler olmak üzere sınıflandırabiliriz (Bunsell, 1988). Doğal lifler; hayvansal, bitkisel mineral lifler, yapay lifler ise polimer, metalik ve seramik lifler olarak sınıflandırılabilir.

Günümüzde farklı lifleri bir arada kullanılarak elde edilen karma lifli beton, tek tip ve boyutta lif kullanımı yerine betonun değişik özelliklerini iyileştirebilmek amacıyla birden fazla tip ve boyutta lifin birlikte karışımında yer aldığı yeni çimento esaslı kompozit malzemedir (Taşdemir vd., 2005). Üretilen bu malzeme ile yük altında oluşan çatlakların mikro düzeyden başlayarak kontrol edilebilmesi amaçlanır.

Ekincioglu (2003) tarafından üretilen ve dayanım, süneklik ve tokluğun artırılması amacıyla çelik ve poliropilen liflerin birarada kullanıldığı karma lifli betonlarda, polipropilen lif hacmi % 0.05, çelik lif hacmi ise % 3 olarak sabit tutulmuştur. Boyut ve narinlikleri farklı olan çelik liflerin kullanılması, betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde farklı oranlarda katkıda bulunduğunu ifade etmiştir.

Yao ve diğerleri (2002) tarafından yapılan çalışmada, üç farklı tip karma lifli betonun basınç, yarmada çekme ve eğilme özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan lif hacim oranı % 0.5 olarak sabit tutulmuş, polipropilen ve karbon, karbon ve çelik, çelik ve polipropilen lifleri içeren üç farklı tipte karma lifli beton üretilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapılabilmesi için, her bir lif çeşidini tekil olarak içeren ve lifsiz numuneler üretilmiştir. Liflerin karma formda kullanılması kompozitin performansını lifsiz ve tekil lif kullanılması durumlarına göre iyileştirdiğini söylemişlerdir.

Qian ve Stroeven (2000a) üç tip çelik lif ile polipropilen lifi birlikte kullanmıştır. Çelik liflerden kancalı olanlar 0.3 mm çapında, 40 mm(SF1) ve 30 mm(SF2) olmak üzere iki boyda, düz olanlar ise 0.1 mm çapında ve 6 mm(SF3) boyundadır. Polipropilen liflerin(PP)

boyu 12 mm, çapı ise 0.018 mm'dir. SF1 ve PP liflerin birlikte kullanıldığı karma lifli betonlarda küçük şekil değiştirmelerde yük taşıma kapasitesinde önemli artışlar olmuştur. SF3 liflerin bu artıştaki etkisinin az olduğu belirlenmiştir. Küçük şekil değiştirmeler sırasında SF1 ve PP lifleri arasında yük taşıma kapasitesi ve kırılma tokluğu açısından olumlu bir etkileşimin varlığının şekil değiştirmeler arttıkça kaybolduğunu belirtmişlerdir.

Qian ve Stroeven (2000b) yaptıkları bir başka çalışmada, lif boyunun, lif içeriğinin ve uçucu kül içeriğinin karma lifli betonlardaki etkilerini incelemişlerdir.

Lawler ve diğerleri (2002) polivinil alkol lifler ile çelik lifleri birarada kullanarak betonun kırılma sürecini izlemişlerdir. Elde edilen eğilme dayanımı-sehim diyagramlarına göre, karma lifli beton numuneler birçok küçük boyutlu çatlak oluşturmak suretiyle, daha fazla enerji yutarak kırılmışlardır.

Komlos ve diğerleri (1995), polipropilen ve çelik lifleri kullanarak toplam lif hacmi % 1 olacak şekilde üç farklı karışım hazırlamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, optimum lif içeriğinin kullanılan karışımın kompozisyonundan ve üretim işlemlerinden etkilendiği görülmüştür.

Kim ve diğerleri (1999) 30 mm lik çelik liflere, 6 ve 12 mm'lik çelik ve polipropilen lifleri ayrı ayrı eklenmiştir. Deneyler, ısıl çatlakların olduğu erken yaşlarda yani 2,3 ve 5 günlük numunelerde yapılmıştır. Liflerin uygun tip ve hacimde kombinasyonu ile elde edilen karma lifli betonlarda daha yüksek performans ve çatlama dayanımının elde edilmesi mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Banthia ve Nendakumar (2003) yaptıkları çalışmada lif tipinin ve kombinasyonlarının çatlak genişlemesine karşı dayanıma etkilerini incelemişlerdir. Çelik lifler kıvrımlı ve sonları yassılaştırılmış liflerden oluşmakta iken, polipropilen lifler ise monofilament ve lif topluluğu şeklindedir. Çelik liflere düşük

oranlarda dahi olsa polipropilen lif eklenmesi, performansı arttırmakta çatlak oluşum ve gelişim sürecine daha fazla direnç sağladığı tespit edilmiştir.

Sato ve diğerleri (2000) uzun ve kısa çelik liflerin bir arada kullanıldığı karma lifli betonların basınç ve çekme dayanımları üzerinde çalışmışlardır. Lif yüzdesinin artmasıyla beraber kompozitlerin basınç ve çekme dayanımlarının arttığı ve bu dayanım değerlerinin lifin narınlık oranı ile hacim yüzdesinin bir fonksiyonu olduğu görülmüştür.

Banthia ve diğerleri (2000) makro ve mikro çelik lifleri bir arada kullanarak karma lifli betonlar üretmişlerdir. Mikro ve makro çelik liflerin karma kombinasyonları ile çok yüksek performanslı çimento esaslı kompozitler üretmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada ise, çelik ve polimer liflerin birlikte kullanılması ile üretilen kiriş numunelerin üzerinde yapılan eğilme deneyleri aracılığıyla yük-sehim diyagramları elde edilmiştir. Yük-sehim diyagramlarına bağlı olarak numunelerin davranışları yorumlanıp, en iyi performansı gösteren numune grubu belirlenmiştir.

Deney Programı

Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan agregalar Burhaniye'de faaliyet gösteren bir hazır beton tesisinden temin edilmiş olup, 0-3 mm (doğal kum), 0-5 mm (kırmataş tozu), 4-11.2 mm ve 11.2-22.4 mm'lik (kırmataş) kullanılmıştır. En büyük tane boyutu 22.4 mm'dir. Elek analizi değerleri TS 706 EN 12620+A1 de belirtilen alt sınır ve üst sınır arasındadır. Elek analizi sonuçları ile çizilen granulometri eğrisi TS 706 EN 12620+A1 'de yer alan orta sınır olan B32 eğrisine çok yakın bir davranış göstermiştir. Beton karışımlarında CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. TS EN 197-1'e göre çimento fabrikası laboratuvarında yapılan deney sonuçlarına göre çimento özelliklerinin belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür. Beton numune üretiminde

kullanılan akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi, modifiye edilmiş polikarboksilik eter esaslı, amber renkli, 1.011 kg/l yoğunluğunda, sıvı, erken ve nihai yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan, mükemmel yüzey görünümü elde etmek için, hazır beton ve prekast endüstrisi için geliştirilmiş, yüksek oranda su ihtiyacını azaltan TS EN 934-2 'ye göre yüksek oranda su azaltıcı / hiper akışkanlaştırıcı katkı ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkı sınıfına uygun, hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesidir. Bu çalışmada pilye şeklinde iki ucu bükülü birleştirilmiş RC 65/35 BN ve RC 80/60 BN çelik lifleri ve mikro donatı olarak adlandırılan başka çelik lif ise 13 mm boyutunda kullanılmıştır. RC 65/35 BN çelik lifindeki karakterler; 65 Performans sınıfında, 35 mm boyunda, iki ucu kancalı, tutkalla yapıştırılmış ve düşük karbonlu parlak çelik lif anlamına gelmektedir. Çelik liflerin en belirgin özelliği çekme sırasında kopmadan direnç göstermeleridir. Ayrıca beton içerisinde homojen olarak dağılmayı kolaylaştırmak amacıyla özel bir tutkalla (su içerisinde kolayca çözünebilen) birleştirilmiştir. Ayrıca 13 mm uzunluğunda M 13 adlı polipropilen lifler kullanılmıştır. Beton karılmasında kullanılacak su kalitesi ile ilgili olarak çok uzun yıllardan bu yana elde edilen tecrübelerle dayanarak kural olarak benimsenmiş olan ve aynı zamanda betonla ilgili birçok kitapta ve hatta suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları standardı olan TS EN 1008'de belirtilmiş olan, su içilebiliyor ise, beton yapımında karma suyu olarak kullanılmaya da uygundur hükmü vardır. Beton yapımında kullanılan karma suyu, kür suyu ve yıkama suyu olmak üzere üç amaçla kullanıldığımız su, şehir şebekesinden akan içme suyundan temin edilmiştir. Kullanılan suyun PH değeri 7'dir.

Numunelerin Üretilmesi ve Adlandırılması

Bu çalışmada 11 farklı beton numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Her bir katkı ile bir tanesi liffsiz şahit numune olmak üzere toplam 4 farklı lifle karışım hazırlanmıştır. Yalın ve lifli beton numuneleri 3'er adet küp(150 mm) ve 3'er adet kiriş numune(150x150x550mm) hazırlanmıştır. Karma lifli betonlar ise 2'şer adet küp ve 2'şer

adet kiriş numune olarak hazırlanmıştır. Çelik liflerle hazırlanan karışımlara sırasıyla 20 kg/m³, 40 kg/m³ çelik lif ilave edilmiştir. Polipropilen lif ise 600 gr/m³ oranında karışıma eklenmiştir. Ayrıca hibrit lifli beton numuneler de her çelik lif tipinden 20 kg/m³ ve sentetik liflerden 500 gr/m³ eklenerek karışım elde edilmiştir. Betonun numune kalıplarına yerleştirilmesi Şekil 1’de verilmiştir. Numunelerin kodlanması yapılırken ilk karakter karışımın lifsiz, lifli ya da karma lifli olduğunu, ikinci karakter lif çeşidini, üçüncü karakter lif performans sınıfını, dördüncü karakter karışımın 1 m³’ünde kaç kilogram lif kullanıldığını ifade etmektedir. Hibrit lifli betonlarda da önce çelik lif sonra da polipropilen lif özelliği kodlanmıştır. Buna göre, kodlama işlemi aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Y : Yalın Beton

LÇM20 : Lifli Beton Mikro Donatılı 20kg/m³

LÇM40 : Lifli Beton Mikro Donatılı 40kg/m³

LÇ6520 : Lifli Beton RC 65/35 BN, 20kg/m³

LÇ6540 : Lifli Beton RC 65/35 BN, 40kg/m³

LÇ8020 : Lifli Beton RC 80/60 BN, 20kg/m³

LÇ8040 : Lifli Beton RC 80/60 BN, 40kg/m³

LP600: Polipropilen Lifli Beton Doumix 13, 600gr/m³

HÇMP : Hibrit Beton Mikro Donatı-20kg/m³, Polipropilen-500 gr/m³

HÇ65P : Hibrit Beton RC 65/60 BN-20kg/m³, Polipropilen- 500 gr/m³

HÇ80P : Hibrit Beton RC 80/60 BN -20kg/m³, Polipropilen 500 gr/m³

Ç: Çimento



Şekil 1. Kiriş numunelerin üretimi

Deney Düzenegi

Üretilen deney numuneleri Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yapı Laboratuvarında bulunan üçte bir noktalarından yüklemeli Şekil 2’de görülen deney düzeneğinde test edilmişlerdir.



Şekil.2. Deney düzeneği

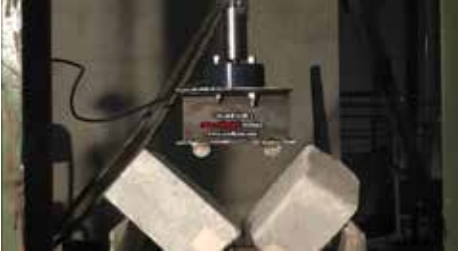
Deneye tabi tutulan numunelerin davranışı belirlendikten sonra Şekil 3’te görüldüğü gibi depolanmışlardır.



Şekil 3. Deney sonrası numunelerin saklanması

Numunelerin Kırılma Örnekleri

Her bir numune deney düzeneğinde test edildikten sonra kırılma biçimleri izlenmiştir. Numunelerin davranışı, deney başlangıcından bitimine kadar kayıt altına alınmıştır. Yalın beton numunelerin oldukça gevrek bir şekilde, aniden ses çıkararak kırıldıkları buna karşın içerisinde lif olan numunelerin sünek davranış gösterdikleri tespit edilmiştir. Yalın ve lifli beton numuneleri temsil edebilecek örnek kırılma durumları Şekil 4 ve 5’te verilmiştir.



Şekil 4. Yalın beton numunenin deney sonrası kırılma davranışı.



Şekil 5. Lifli beton numunenin deney sonrası kırılma davranışı.

Deney Sonuçları

Basınç Dayanımı Tayini

Üretilen 11 farklı beton karışımı için hazırlanan küp numuneler TS EN 12390 standardına uygun olarak test edilmiştir. Lifsiz numunelerden elde edilen basınç dayanımı ortalama değeri 60.96 MPa iken lifli numunelerden elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında küçük oranlarda

artma ve azalma gösteren değerler bulunmuştur (Tablo 1). Liflerin kullanılmasının basınç dayanımına olumlu bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Eğilme Dayanımı Tayini

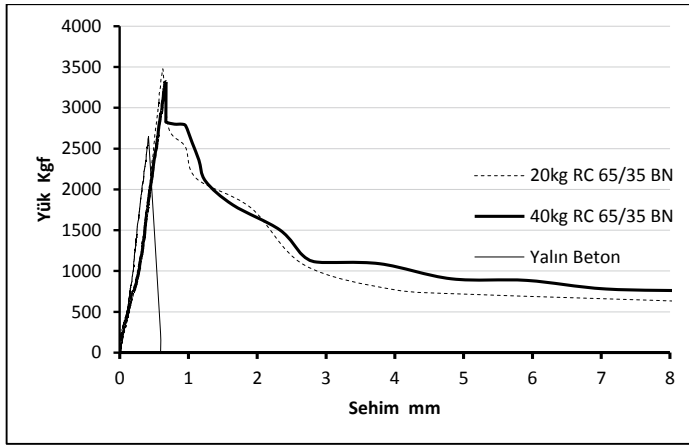
Günümüzde gelişen beton teknolojisinde, dayanıklılık kadar dayanım da önem kazanmaktadır. Betonlar tasarlanan hizmet süreleri boyunca, çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere maruz kalmaktadır. Bu hizmet süresi içinde betonun göstereceği performans, betonun dayanıklılığını göstermektedir. Son 25 yılda kaydedilen ilerleme sonucu lifli betonların kullanım alanları hızla artmıştır. Özellikle prefabrike yapı elemanları üretiminde, titreşim etkisinde kalan saha elemanlarında kullanılması ile beton içerisinde oluşan çatlakların ilerlemesi lifler sayesinde önlenebilmektedir. Bu da dayanımı ve durabiliteyi arttırmaktadır. Bu açıdan, genellikle eğilme dayanımının önemli olduğu yapı elemanları üretiminde kullanılan lif tipinin betonun eğilme dayanımını ne şekilde değiştirdiğini incelemek bu çalışmanın esas amacını oluşturmaktadır. Numunelere ait eğilme dayanımları Tablo 2 'de verilmiştir. Lifsiz ve tüm lifli betonların 28. günlerdeki eğilme dayanımları artmaktadır. Tüm seri numunelerden elde edilen eğilme diyagramlarının yalın beton numuneye göre karşılaştırılması Şekil 6, 7, 8, 9, 10 ve 11'de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin basınç dayanımı değerleri

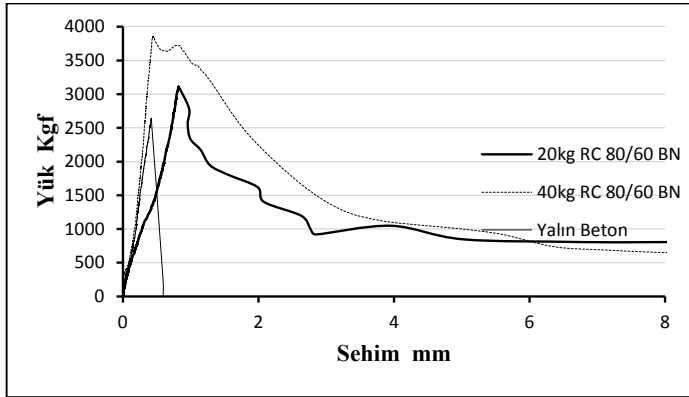
Beton Türü	1.Numune Basınç Day. (MPa)	2.Numune Basınç Day. (MPa)	3.Numune Basınç Day. (MPa)	Ortalama Basınç Day. (MPa)
Y	61.76	61.67	60.96	60.96
LÇM20	55.42	56.83	58.50	56.92
LÇM40	69.21	64.86	66.92	67.00
LÇ6520	60.53	71.04	68.77	66.78
LÇ6540	57.16	60.07	66.94	61.39
LÇ8020	56.05	60.85	57.90	58.27
LÇ8040	60.08	57.44	61.27	59.59
LP600	53.86	54.52	55.96	56.40
HÇMP	54.15	55.95		55.05
HÇ65P	55.96	53.92		54.94
HÇ80P	58.88	62.03		60.46

Tablo 2. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri

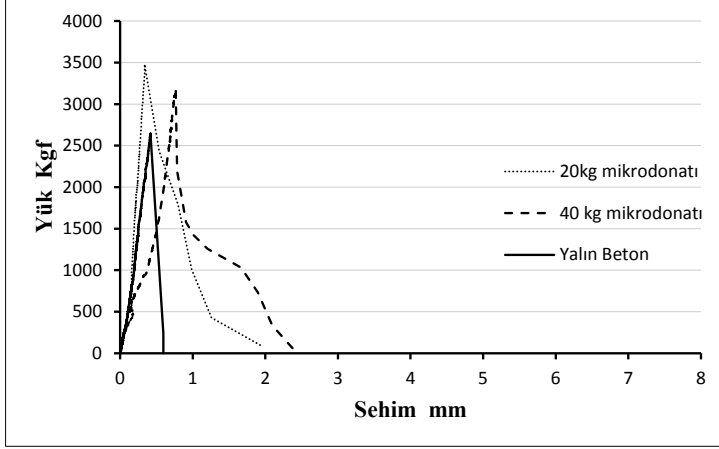
Beton Türü	1.Numune Eğilme Dayanımı (MPa)	2.Numune Eğilme Dayanımı (MPa)	3.Numune Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)
Y	3.842	4.283	4.525	4.217
LÇM20	5.281	5.005	5.139	5.142
LÇM40	4.514	5.545	5.077	5.045
LÇ6520	5.015	5.051	5.408	5.158
LÇ6540	4.823	4.746	5.350	4.973
LÇ8020	4.517	5.098	3.621	4.412
LÇ8040	5.519	5.407	5.316	5.414
LP600	5.235	4.405	4.638	4.759
HÇMP	5.083	5.055		5.047
HÇ65P	4.990	4.799		4.895
HÇ80P	5.004	5.436		5.220



Şekil 6. Farklı lif oranıyla RC 65/35 BN lifli ve yalın beton numunelerinin yük sehim eğrileri.



Şekil 7. Farklı lif oranıyla RC 80/60 BN lifli ve yalın beton numunelerinin yük sehim eğrileri



Şekil 8. Farklı dozajlarda kullanılmış mikrodonatılı beton numunelerinin yük sehim eğrileri

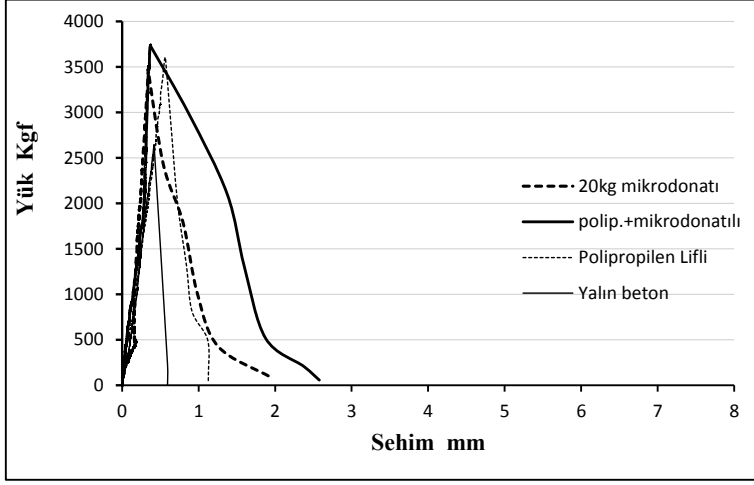
Karma Lifli Beton Numunelerinin Lifli Beton ve Yalın Numuneleriyle Eğilme Dayanımlarının Karşılaştırılması

1-Yalın beton numunelerinin eğilme dayanımı 4.217 MPa iken; polipropilen lifli beton numunelerinin eğilme dayanımı 4.759 MPa, ağırlıkça 20kg/m³ dozajında mikrodonatılı lifli beton numunelerinde eğilme dayanımı 5.142 MPa, 20kg/m³ mikro donatı ile 500 gr/ m³ polipropilen liflerin birlikte betona ilave edilmesiyle oluşan karma lifli beton numunelerinde ise 5.047 MPa'dır. Yalın beton numunelerine göre eğilme dayanımlarındaki artış oranı polipropilen, mikro donatılı ve karma lifli beton numunelerinin sırasıyla %13, %22 ve %20'tir. Eğilme dayanımı açısından en iyi performansın mikrodonatılı beton numunelerinde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 9'da karma lifli (Polip.+mikrodonatılı) ve lifli beton numunelerinin yük sehim eğrileri karşılaştırma için birlikte gösterilmiştir.

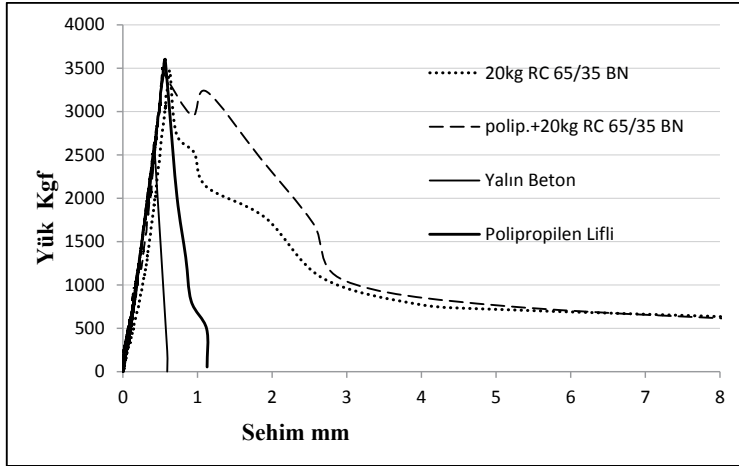
2-Yalın beton numunelerinin eğilme dayanımı 4.217 MPa iken polipropilen lifli beton numunelerinin 4.759 MPa, RC 65/35 BN liflerin 20kg/m³ dozajında kullanıldığı lifli beton numunelerinin 5.158 MPa, 20kg/m³ RC 65/35

BN lif ile 500 gr/m³ polipropilen lifli betonların birlikte kullanılmasıyla elde edilen karma lifli beton numunelerinde ise 4.895 MPa'dır. Yalın beton numunelerinde göre eğilme dayanımlarındaki artış oranı polipropilen, RC 65/35 BN lifli ve karma lifli beton numunesi olarak sırasıyla %13, %23 ve %16'tir. Şekil 10'da karma lifli ve lifli beton numunelerinin yük sehim eğrileri birlikte gösterilmiştir.

3- Polipropilen lifli beton numunelerinde eğilme dayanımı 4.759 MPa, RC 80/60 BN liflerin 20kg/m³ dozajında kullanımındaki beton numunelerin eğilme dayanımı 4.412 MPa, 20kg/m³ RC 80/60 BN lifi ile 500 gr/ m³ polipropilen lifli betonların birlikte kullanımı ile oluşan karma lifli beton numunelerindeki eğilme dayanımı ise 5.220 MPa'dır. Yalın beton numunelerine göre eğilme dayanımlarındaki artış oranı polipropilen, RC 80/60 BN lifli ve karma lifli beton numuneleri olarak sırasıyla %13, %5 ve %24'tir. En iyi performansı karma lifli beton numunelerinin gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 11'de karma lifli ve lifli beton numunelerinin yük sehim eğrileri karşılaştırma açısından birlikte gösterilmiştir.

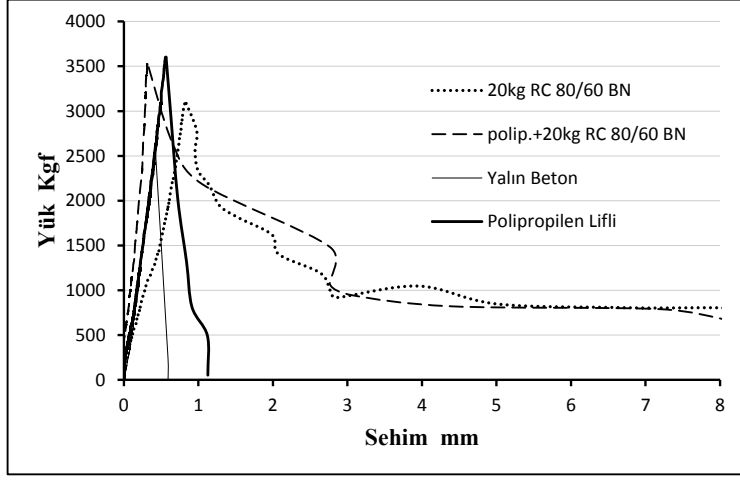


Şekil 9. Lifli (20 kg mikrodonatlı, polipropilen + mikrodonatlı, polipropilen) ve lifsiz (yalın) beton numune örneklerinin yük-sehim diyagramları



Şekil 10. Lifli(20 kg RC 65/35 BN, polipropilen+20 kg RC 65/35 BN, Polipropilen) ve lifsiz (yalın) beton numune örneklerinin yük-sehim diyagramları.

Karma lifli betonların tokluk açısından değerlendirilmesi



Şekil 11. Lifli (20 kg RC 80/60 BN, polipropilen+20 kg RC 80/60BN, polipropilen) ve lifsiz (yalın) beton numune örneklerinin yük-sehim diyagramları.

Tablo 3. Numunelerin şekil değiştirme indisleri

Beton Türü	I ₅	I ₁₀	I ₂₀	TS 10515' de verilen kriterler		
				I ₅	I ₁₀	I ₂₀
Y	1	1	1	1	1	1
LÇM20	3.944	5.308	-	1-6	1-12	1-25
LÇM40	3.284	3.723	-	1-6	1-12	1-25
LÇ6520	3.677	5.306	7.347	1-6	1-12	1-25
LÇ6540	4.098	5.883	8.375	1-6	1-12	1-25
LÇ8020	3.891	5.500	8.207	1-6	1-12	1-25
LÇ8040	3.669	5.154	8.692	1-6	1-12	1-25
LP600	2.524	-	-	1-6	1-12	1-25
HÇMP	3.994	-	-	1-6	1-12	1-25
HÇ65P	5.733	8.903	12.104	1-6	1-12	1-25
HÇ80P	4.052	6.101	9.264	1-6	1-12	1-25

Lifli betonların tokluk düzeylerini belirlemek için farklı deney yöntemleri ve şartnameler mevcuttur. Bu çalışmada TS 10515'de verilen yöntemle göre tokluk değerleri hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen yük sehim grafiği altında kalan alan hesaplanarak, tokluk indeksleri Tablo 3'de verilmiştir. Numunelerdeki tokluk değerleri yük-sehim eğrisinin altındaki alan sehimin 8 mm olduğu noktaya kadar hesaplanmıştır. Tablo 4'de her bir beton türü için hazırlanan 3 adet numunenin tokluk değeri verilmiştir. Gözlemlenen tokluk değerleri sonuçlarının

yalın beton numunesine göre değişimleri; LÇM20 (20kg/m³ mikro donatılı beton numunesinde) % 149 artış, LÇM40 (40kg/m³ mikro donatılı beton numunesinde) % 166 artış, LÇ6520 (20kg/m³ RC 35/60 lifli beton numunesinde) % 849 artış, LÇ6540 (40kg/m³ RC 35/60 lifli beton numunesinde) % 875 artış, LÇ8020 (20kg/m³ RC 80/60 lifli beton numunesinde) % 862 artış, LÇ8040 (40kg/m³ RC 80/60 lifli beton numunesinde) % 1053 artış, LP 600 (polipropilen lifli beton numunesinde) %14 artış, HÇMP (Karmalif = polipropilen + mikrodonatı) %324 artış,

HÇ65P (Karma Lif = polipropilen + RC 35/60) %947 artış, HÇ80P (Karma Lif = polipropilen + RC 80/60) %976 artış ile sonuçlanmıştır.

Sonuçlar

Yapılan çalışma ile numunelerin enerji yutma kapasitesi(tokluk) açısından incelendiğinde, tokluk indekslerinin TS 10515'te verilen değerlendirme kriterlerinde belirtilen aralıklar arasında kaldığı görülmüştür. Lif miktarının

artması ile birlikte enerji yutabilme kapasitesinin arttığı Tablo 4'de verilen tokluk değerlerine bağlı olarak söylenebilir. Bununla birlikte en iyi performansın karma lifli beton numunelerde elde edildiği görülmüştür. Liflerin birlikte kullanılması numunenin enerji yutma kapasitesini arttırmakla birlikte depreme göre daha sünek davranış elde edilmesinde iyileştirme sağlayacağı düşünülmektedir.

Tablo 4. Numunelerin tokluk değerleri

Beton Türü	1.Numune Tokluk (KN mm)	2.Numune Tokluk (KN mm)	3.Numune Tokluk (KN mm)	Ortalama Tokluk (KN mm)
Y	7.266	10.826	10.542	9.544
LÇM20	24.389	21.417	25.556	23.787
LÇM40	14.886	33.980	27.301	25.389
LÇ6520	89.829	87.515	94.467	90.603
LÇ6540	96.566	83.199	99.537	93.101
LÇ8020	90.711	85.883	98.900	91.831
LÇ8040	89.171	118.179	122.995	110.115
LP600	9.326	10.169	13.062	10.852
HÇMP	38.011	42.766		40.388
HÇ65P	102.960	95.408		99.948
HÇ80P	97.948	107.461		102.704

Teşekkür

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi BAP 2012/73 numaralı proje kapsamında destek-lenmiştir.

Kaynaklar

Alkan, G., (2004). "Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, İstanbul.

Banthia, N. ve Nandakumar, N., (2003). "Crack Growth Resistance of Hybrid Fiber Reinforced Cement Composites", Cement and Concrete Composites, 25, 3-9.

Banthia, N., Yan, N., Bindiganalve, V., (2000). "Development and Application of High Performance Hybrid Fiber Reinforced Concrete", Fifth Rilem Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC), Lyon, France, 13-15 September.

Bekaert, (1998). "Duomix Hakkında Genel Bilgier Klavuzu", Bekaert, Belgium.Beksa Firması, Çelik Tel Takv.Bet.Özl., Beksa Broşürleri Basımevi, İzmit.

Bunsell, A.R., (1988). "Fiber Reinforcement for Composite Materials", Composite Materials Series, Elsevier Science, The Netherlands, 2.

Ekincioglu, Ö., (2003). "Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı-Bir Optimum Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, İstanbul.

Kim, N.W., Saeki, N., Horiguchi, T., (1999). "Crack and Strength Properties of Hybrid Fiber Reinforced Concrete at Early Ages", Transactions of the Japan Concrete Institute, 21.

Komlos, K., Babal, B., Nürnbergerova, T., (1995). "Hybrid Fiber-Reinforced Concrete Under Repeated Loading", Nuclear Engineering and Design, 156, 195-200.

- Lawler, J.S., Wilhelm, T., Zampini, D., Shah, S.P., (2002). "Fracture process of Hybrid Fiber-Reinforced Mortar", *Materials and Structures Journal*, 36, 197-208.
- Qian, C., Stroven, P., (2000a) "Fracture properties of concrete reinforced with steelpolypropylene hybrid fibers", *Cement and Concrete Composites*, 22, 343-351.
- Qian, C., Stroven, P., (2000b). "Development of Hybrid Polypropylene-Steel Fibre-Reinforced Concrete", *Cement and Concrete Research*, 30, 63-69.
- Sato, Y., Van Mier, J.G.M., Walraven, J.C., (2000). "Mechanical Characteristics of Multi-Modal Fiber Reinforced Cement Based Composites", *Fifth Rilem Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC)*, Lyon, France, 13-15 September.
- Taşdemir M.A., Kocatürk, A.N., Haberveren, S. ve Aslan, G., (2005). "Özel Prefabrike Elemanların Ultra Yüksek Performanslı Betonlarla Üretimi", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, 6. Ulusal Beton Kongresi-Yüksek Performanslı Betonlar, 16-18, 447- 457, İstanbul.
- TS EN 12390-4, (2002). "Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 4: Basınç Dayanımı- Deney Makinelerinin Özellikleri".
- TS EN 197-1, (2012). "Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellik ve Uygunluk Kriterleri".
- TS EN 934-2, (2011). "Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları- Tarifler, Gereklere, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme".
- TS EN 1008, (2003). "Beton- Karma Suyu- Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları".
- TS 10515, (1992). "Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu".
- Yao, W., Li, J., Wu, K., (2002). "Mechanical Properties of Hybrid Fiber- Reinforced Concrete at Low Fiber Volume Fraction", *Cement and Concrete Research*, 2157, 1-4.

Evaluation of toughness of the hybrid fiber concrete

Extended abstract

It is known for its concrete brittleness feature a popular building material. The ductility of the structure of the delivery system, however, the concept is becoming important. The studies result in a concrete way to make a ductile material rescued from the brittleness feature is the use of fiber. The fibers used; steel, synthetic and nature-based materials. Our experience in this perfect material fit for purpose in every day products rose desired properties are obtained. By using different fibers together to obtain hybrid fiber concrete. Hybrid fiber concrete; Instead of a single fiber type and size is more than one type and size of a new cement -based composite material is contained in the mixture with the fiber. It intended to control the size of the cracks under load with hybrid fiber concrete.

In this study 11 different types of concrete samples were produced. The amount of steel fibers in the mixture is 20 kg/m^3 and 40 kg/m^3 , the amount of polypropylene fiber is 600 g/m^3 . In the mixed-fiber concrete amount of steel fiber 20 kg/m^3 and polypropylene fiber 500 g/m^3 are considered. The specimens were tested under bending and compression. All experiments were carried out in the Balıkesir University's faculty of engineering and architecture building labs. Produced $150 \times 150 \times 550 \text{ mm}$ beam samples and 150 mm cube samples are subjected to compressive and flexural tests. The same water/cement ratio concrete sample tests through bending load-deflection diagrams are created. The energy absorbing capacity depending on the fracture behavior of the received record for each sample was measured. One of the aims of the work load energy absorption capacity of different types of samples depends on the deflection diagram to compare. The load deflection diagrams have been normalized to the same sample group. Plain concrete specimens are broken in a brittle whereas fiber concrete specimens showed a ductile behavior. Different test methods and specifications to determine their level of toughness of fiber concrete is available. In this study, toughness values were calculated according to the method given in TS 10515. Toughness index were found to be among the

calculated values given in the specification. These values are given in the table 2. Depending on the experimental setup, the load -deflection curves were plotted to 8 mm deflection. Toughness values of all samples were compared. Toughness of fiber and hybrid fiber samples showed a significant increase. The best results were obtained from the behavior of the hybrid-fiber concrete samples, producing ductile element for our country in the earthquake zone, the importance of the earthquake behavior emphasizes once again.

Keywords: hybrid fiber, steel fiber, polypropylene fiber, toughness, flexure.